

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number. 07063855 A

(43) Date of publication of application: 10.03.85

(51) Int. Cl.

G01S 17/36

(21) Application number: 05214199

(22) Date of filing: 30.08.93

(71) Applicant: HAMAMATSU PHOTONICS KK

(72) Inventor:
 TAKESHIMA AKIRA
 KOISHI YU
 WARASHINA SADAHISA
 MIZUSHIMA YOSHIHIKO

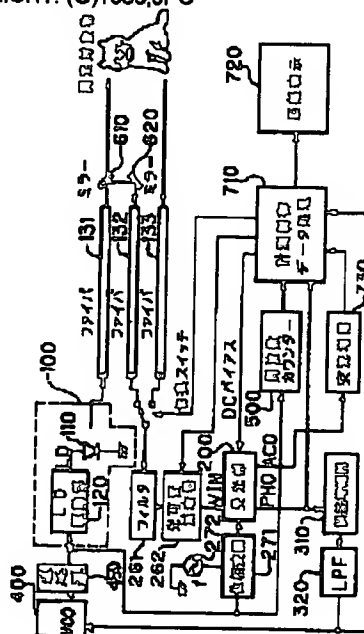
(54) APPARATUS FOR OPTICAL MEASUREMENT

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(57) Abstract

PURPOSE: To obtain an optical range finder/a or group refractive index meter being simple and of high accuracy.

CONSTITUTION: A laser light from LD(laser diode) 110 is applied to a reflector through a fiber 131. A light-detecting part 200 detects a reflected modulated light reflected by an object and returning from it and outputs a signal reflecting a phase difference between the laser light and a modulated signal. On the basis of the value of that signal, the frequency of the modulated signal is changed and phase-locked finally. When the frequency of the modulated signal is fixed by being phase-locked, accordingly, this frequency always corresponds to the distance from the LD 110 to the reflector and the group refractive index of a substance filling an optical path. On the bases of an output frequency at the time point of being phase-locked, the distance to the object or the group refractive index of the substance filling the optical path at this time can be determined simply and with high accuracy.



(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成7年(1995)3月10日

技術表示箇所

4240-5 J

[最終頁に続く](#)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光搬送波を強度変調した変調光を目標物体に照射する送光部と、

前記目標物体で反射されて戻ってきた反射変調光と前記光搬送波を強度変調する変調信号の波形を反映した電圧信号とを入力し、前記反射変調光と前記電圧信号との積を直接演算し、該演算結果を時間平均して、前記反射変調光と前記電圧信号との位相差の値に応じた信号を出力する受光部と、

前記受光部の出力信号が基準値に固定される条件を保つように、前記変調光の周波数を調節する周波数調節手段と、

前記周波数調節手段によって調節された結果、固定された変調周波数を計測する周波数計測手段と、

前記周波数計測手段によって計測された周波数に基づいて前記送光部及び受光部側から目標物体までの距離を求める処理手段と、

を備えることを特徴とする光学測定装置。

【請求項2】 光搬送波を強度変調した変調光を照射する送光部と、

前記送光部から所定距離の位置に配設された、前記送光部からの前記変調光を反射する反射手段と、

前記反射手段で反射されて戻ってきた反射変調光と前記光搬送波を強度変調する変調信号の波形を反映した電圧信号とを入力し、前記反射変調光と前記電圧信号との積を直接演算し、該演算結果を時間平均して、前記反射変調光と前記電圧信号との位相差の値に応じた信号を出力する受光部と、

前記受光部の出力信号が基準値に固定される条件を保つように、前記変調光の周波数を調節する周波数調節手段と、

前記周波数調節手段によって調節された結果、固定された変調周波数を計測する周波数計測手段と、

前記周波数計測手段によって計測された周波数に基づいて前記送光部及び受光部側と前記反射手段との間の光路の群屈折率を求める処理手段と、

を備えることを特徴とする光学測定装置。

【請求項3】 光学測定装置自体に内在する位相差を除去する校正用のバイパス光路が設けられている、ことを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【請求項4】 前記周波数調節手段から出力された変調信号は、入力電気信号に所定の時間遅延を施す遅延器を介して送光部へ入力する、ことを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【請求項5】 前記受光部は、前記変調信号の波形を反映した電圧が印加され、光信号を受光する光導電型受光器と、前記光導電型受光器からの出力電流を入力し、前記出力電流信号の値の時間平均を算出する時間平均手段と、

を備えることを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【請求項6】 前記受光部は、

前記変調信号の波形を反映した電圧が印加され、光信号を受光する光導電型受光器と、

前記光導電型受光器からの出力電流を入力し、前記出力電流信号の値の時間平均を算出する時間平均手段と、前記光導電型受光器のオフセット電圧を調整する調整手段と、

を備えることを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【請求項7】 前記光導電型受光器は、照射光量が一定、印加電圧値を独立変数とした場合、印加電圧値が0Vを含む所定の定義域において、前記光導電型受光器を流れる電流量が印加電圧の奇関数であり、印加電圧は、周期的であり、時間平均値が略0であり、且つ、振幅が0となる隣り合う時刻の midpoint の時刻を原点として、振幅が時間の偶関数であることを特徴とする請求項5記載または請求項6記載の光学測定装置。

【請求項8】 前記光導電型受光器は、金属-半導体-金属フォトディテクタである、ことを特徴とする請求項7記載の光学測定装置。

【請求項9】 前記電圧信号は、前記変調信号を他の変調信号で位相変調して生成される、ことを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【請求項10】 前記周波数調節手段は、基準電圧と前記受光部の出力信号とを入力し、前記基準電圧の値と前記受光部の出力信号の値との差の値を増幅して出力する誤差増幅器と、

前記増幅電圧信号を入力し、交流成分を低減して略直流の電圧信号を出力するローパスフィルタと、

前記略直流の電圧信号を入力し、該電圧信号の値に応じた周波数の電気信号を生成して前記送光部へ出力する電圧制御発振器と、

を備えることを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【請求項11】 前記周波数調節手段は、

基準電圧と前記受光部の出力信号とを入力し、前記基準電圧の値と前記受光部の出力信号の値との差の値を増幅して出力する誤差増幅器と、

前記誤差増幅器から出力された信号を入力し、交流成分を低減して第1の略直流電圧信号を出力するローパスフィルタと、

前記第1の略直流電圧信号と電圧範囲指示信号とを入力し、前記第1の略直流電圧信号の値と前記電圧範囲の値の積の値に応じた値を有する第1の略直流電気信号を出力する第1の信号変換手段と、

変位電圧指示信号を入力し、前記変位電圧指示信号の値に応じた値を有する第2の略直流電気信号を出力する第

2の信号変換手段と、

前記第1の略直流電気信号と前記第2の略直流電気信号とを入力し、前記第1の略直流電気信号の値と前記第2の略直流電気信号の値との和の値に応じた第2の略直流電圧信号を出力する信号加算手段と、
前記信号加算手段から出力された前記第2の略直流電圧信号を入力し、該電圧信号の値に応じた周波数の信号を生成して前記送光部へ出力する電圧制御発振器と、
を備えることを特徴とする請求項1または請求項2記載の光学測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、目標物体までの距離あるいは光路の群屈折率を光学的な手法を用いて正確に測定する光学測定装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】従来の距離計として、超音波式距離計が存在するが、高精度のものが存在せず、だいたいの目安程度のものでしかない。すなわち、ビームを絞り込むこととビームの当たっている位置を特定することが困難で、測定位置を微細に限定することができないという問題点があった。また、温度依存性が大きく十分な測定精度が得られないという問題点もあった。

【0003】光学式距離計としては、信号光の強度を正弦波等で変調して目標物体に照射し、反射光のもつ正弦的な強度変化から送受信間の変調信号の位相を測定し、これに基づいて距離を求める位相差方式の光波測距儀が存在する。しかしながら、かかる装置は回路系が複雑になり高価なものとなるといった問題があった。

【0004】また、群屈折率計としても、信号光の強度を正弦波等で変調して既知の距離に接地された反射体に照射し、反射光のもつ正弦的な強度変化から送受信間の変調信号の位相を測定し、これに基づいて光路を満たす物質の群屈折率を求める位相差方式の光波測距儀が存在する。しかしながら、かかる装置は回路系が複雑になり高価なものとなるといった問題があった。

【0005】本発明は、以上の問題点を解消するためになされたものであり、簡易かつ高精度で目的物体までの距離を測定する光学測定装置を提供することを目的とする。

【0006】また、本発明は、簡易かつ高精度で光路の群屈折率を測定する光学測定装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するため、本発明第1の光学測定装置は、(a)光搬送波を強度変調した変調光を目標物体に照射する送光部と、

(b)目標物体で反射されて戻ってきた反射変調光と光搬送波を強度変調する変調信号の波形を反映した電圧信

号とを入力し、反射変調光と電圧信号との積を直接演算し、該演算結果を時間平均して、反射変調光と電圧信号との位相差の値に応じた信号を出力する受光部と、

(c)受光部の出力信号が基準値に固定される条件を保つように、変調光の周波数を調節する周波数調節手段と、(d)周波数調節手段によって調節された結果、固定された変調周波数を計測する周波数計測手段と、

(e)周波数計測手段によって計測された周波数に基づいて送光部及び受光部側から目標物体までの距離を求める処理手段と、を備えることを特徴とする。

【0008】また、本発明の第2の光学測定装置は、

(a)光搬送波を強度変調した変調光を照射する送光部と、(b)送光部から所定距離の位置に配設された、送光部からの変調光を反射する反射手段と、(c)反射手段で反射されて戻ってきた反射変調光と前記光搬送波を強度変調する変調信号の波形を反映した電圧信号とを入力し、反射変調光と電圧信号との積を直接演算し、該演算結果を時間平均して、反射変調光と電圧信号との位相差の値に応じた信号を出力する受光部と、(d)受光部の出力信号が基準値に固定される条件を保つように、変調光の周波数を調節する周波数調節手段と、(e)周波数調節手段によって調節された結果、固定された変調周波数を計測する周波数計測手段と、(f)周波数計測手段によって計測された周波数に基づいて送光部及び受光部側と反射手段との間の光路の群屈折率を求める処理手段と、を備えることを特徴とする。

【0009】本発明の光学測定装置は、上記の構成に加えて、光学測定装置自体に内在する位相差を除去する校正用のバイパス光路を設けたり、周波数調節手段から出力された変調信号に時間遅延を施して送光部へ送出する遅延器を設けたりして、構成することが可能である。

【0010】また、受光部は、①変調信号の波形を反映した電圧が印加され、光信号を受光する光導電型受光器と、②光導電型受光器からの出力電流を入力し、出力電流信号の値の時間平均を算出する時間平均手段と、を備えることを特徴としてもよいし、更に、③光導電型受光器のオフセット電圧を調整する調整手段を加えて構成されることを特徴としてもよい。

【0011】また、光導電型受光器は、照射光量が一定、印加電圧値を独立変数とした場合、印加電圧値が0Vを含む所定の定義域において、光導電型受光器を流れる電流量が印加電圧の奇関数であり、印加電圧は、周期的であり、時間平均値が略0であり、且つ、振幅が0となる隣り合う時刻の midpoint の時刻を原点として、振幅が時間の偶関数である、ことを特徴としてもよく、例えば、光導電型受光器は、金属-半導体-金属フォトディテクタである、ことを特徴としてもよい。

【0012】また、受光部に入力する電圧信号は、変調信号を他の変調信号で位相変調して生成される、ことを特徴としてもよい。

【0013】また、周波数調節手段は、①基準電圧と受光部の出力信号とを入力し、基準電圧の値と受光部の出力信号の値との差の値を増幅して出力する誤差増幅器と、②増幅電圧信号を入力し、交流成分を低減して略直流の電圧信号を出力するローパスフィルタと、③この略直流の電圧信号を入力し、該電圧信号の値に応じた周波数の電気信号を生成して送光部へ出力する電圧制御発振器と、を備えることを特徴としてもよいし、①基準電圧と受光部の出力信号とを入力し、基準電圧の値と受光部の出力信号の値との差の値を増幅して出力する誤差増幅器と、②誤差増幅器から出力された信号を入力し、交流成分を低減して第1の略直流電圧信号を出力するローパスフィルタと、③第1の略直流電圧信号と電圧範囲指示信号とを入力し、第1の略直流電圧信号の値と電圧範囲の値の積の値に応じた値を有する第1の略直流電気信号を出力する第1の信号変換手段と、④変位電圧指示信号を入力し、変位電圧指示信号の値に応じた値を有する第2の略直流電気信号を出力する第2の信号変換手段と、⑤第1の略直流電気信号と第2の略直流電気信号とを入力し、第1の略直流電気信号の値と前記第2の略直流電気信号の値との和の値に応じた第2の略直流電圧信号を出力する信号加算手段と、⑥信号加算手段から出力された第2の略直流電圧信号を入力し、該電圧信号の値に応じた周波数の信号を生成して送光部へ出力する電圧制御発振器と、を備えることを特徴としてもよい。

【0014】

【作用】上記光学測定装置は、変調信号の位相と受光部での反射変調光の位相との差が一定値になる位相固定の条件を保つように変調光の周波数を調節する周波数調節手段を備えるので、変調信号の周波数は、常に送光部及び受光部側から目標物体までの距離または光路の群屈折率に対応したものとなっている。したがって、変調信号の周波数が固定化した時点での変調信号の周波数に基づいてこの時の目標物体までの距離または光路の群屈折率を簡易かつ高精度で求める。

【0015】

【実施例】本発明の具体的実施例について説明する前に、本発明の原理について具体的に説明する。

【0016】図1に、本発明の第1のタイプの光学測定装置の概略の構成を示す。誤差増幅器310は、その一方の入力端子には基準電圧(V_r)が入力され、他方の入力端子に入力される電圧信号の値(V_s)と基準電圧の値との差($V_s - V_r$)を増幅した値の電圧($V_i = G \cdot (V_s - V_r)$)を出力する。誤差増幅器310の出力はローパスフィルタ320に入力される。このローパスフィルタ320は、誤差増幅器310の出力の直流成分のみを選択し、ループの過渡応答特性を決定する。ローパスフィルタ320の出力は電圧制御発振器(VCO)400にその制御電圧を供給する。電圧制御発振器400は、ローパスフィルタ320を介して誤

差増幅器310から供給される制御電圧に応じた周波数で発振する。電圧制御発振器400からの電気信号は送光部100に供給される。この送光部100は、レーザーダイオード(LD)等の光源を備え、電圧制御発振器400の出力する電気信号に応じてこの光源の出力光を強度変調し、平行ビームにコリメートして、反射体(反射板650)に照射する。反射体からの反射変調光は、受光部200で受光される。受光部200には電圧制御発振器400から出力される変調信号が同時に入力されており、反射変調光と変調信号との位相差を算出後に位相差信号の時間平均電圧値に変換して出力する。この時間平均電圧値は、上記の誤差増幅器310の他の入力端子に入力される。周波数カウンタ500は、電圧制御発振器400から出力される変調信号の周波数を検出する。なお、周波数カウンタ500は、周波数を計測するものであれば代替可能である。例えば、周波数/電圧変換器(F/Vコンバータ)と電圧計との組み合わせ、パルスの繰り返し周期に比例した電圧を出力するレートメータと電圧計との組み合わせ、またはFM検波器を用いられるような周波数弁別器を使用できる。

【0017】ここで、受光部200は入力する光波形と電気信号波形とを直接乗算して、乗算結果の低周波成分を電圧値として出力する。図2は、こうした機能を実現する受光部の構成例1の構成図である。この受光部は、反射変調光と変調信号とを入力して、光信号である反射変調光と電気信号である変調信号との積を演算することにより反射変調光と変調信号との位相差を反映した電気信号を出力する光導電型受光器210と、変調信号の交流分の電圧信号を光導電型受光器210に印加するための接続コンデンサC1、C2と、光導電型受光器210に生じた電流の直流分を通すチョークコイルL1、L2と、チョークコイルL1、光導電型受光器210およびチョークコイルL2を流れる電流信号の交流分を電圧に変換する演算増幅器A2および抵抗R2と、この変換された電圧信号の時間平均を演算する演算増幅器A1、コンデンサC4および抵抗R1と、光導電型受光器210に印加する電圧のバイアス値を調整するバイアス調整器と、から構成される。

【0018】ここで、光導電型受光器210は、金属-半導体-金属(MSM)受光器から構成される。また、バイアス調整器は、バイアス電圧値を調整する可変抵抗VR1と、可変抵抗VR1の端子と接続させる、直列接続された直流電源E1、E2と、からなり、直流電源E1と直流電源E2との接続点は接地電位に設定される。

【0019】この受光部200は、無変調光の受光時に出力が「0V」となるように、可変抵抗VR1によってバイアス電圧が調整される。この場合、大気の流れなどを無視すれば、受光部200の入力信号である反射変調光の交流分V、および変調信号V、は、

7

$$V_A = V_A \sin(\omega t - \phi)$$

V_A : 反射変調光の強度振幅 (変調成分)

ω : 変調周波数

*

$$V_B = V_B \sin(\omega t)$$

V_B : 変調信号の電圧振幅

※る。

であり、受光部200の出力電圧 V_0 は次の式で表され※

$$\begin{aligned} V_0 &= \langle V_A \cdot V_B \rangle \\ &= \langle K_1 \cdot V_A \sin(\omega t - \phi) \cdot V_B \sin(\omega t) \rangle \\ &= \langle K_2 \cdot V_A \cdot V_B (\cos(2\omega t - \phi) + \cos \phi) \rangle \\ &= K_2 \cdot V_A \cdot V_B \cdot \cos \phi \end{aligned} \quad \dots (1)$$

ここで、 $\langle X \rangle$: X の時間平均

K_i : 定数 ($i=1, 2$)

図3は、受光部の動作の説明図であり、(1)式に示した位相差(ϕ)と出力電圧(V_0)との関係を示す。図3(a)は位相差が $0 (+2n\pi; n=\text{整数})$ の場合を、図3(b)は位相差が $\pi/2 (+n\pi; n=\text{整数})$ ☆

$$V_1 = G \cdot V_0 = G \cdot K_2 \cdot \cos \phi \quad \dots (2)$$

ここで、 G : 誤差増幅器の利得

☆ ☆となる。すなわち、

$$\cos \phi = V_1 / (G \cdot K_2) \quad \dots (3)$$

となり、誤差増幅器310が充分な利得を持つ(すなわち、 G が充分に大きい)ならば、反射変調光と変調信号との位相差が常に略 $\pi/2 (+n\pi; n=\text{整数})$ に保たれるようなフェーズロックループ(PLL)が構成され、反射体までの往復距離($L_1 + L_2$)に応じた周波数で電圧制御発振器400が発振することになる。

【0021】ところで、フェーズロックループのロック条件が成立しても変調周波数値は一義的には決定されな◇

$$T_d = 3/4 \cdot f^{-1}$$

f : VCO発振周波数

のように求められる。

【0023】したがって、光路を満たす物質の群屈折率※

$$L = c \cdot T_d / (2 \cdot n) \quad \dots (4)$$

n : 光路を満たす物質の群屈折率

c : 真空中の光速

のように求められる。周波数の測定精度は通常でも6桁以上とかなり高精度であるから、距離も高精度で求めることができる。なお、電圧制御発振器400は、発振周※

$$n = c \cdot T_d / (2 \cdot L) \quad \dots (5)$$

n : 光路を満たす物質の群屈折率

c : 真空中の光速

のように求められる。周波数の測定精度は通常でも6桁以上とかなり高精度であるから、群屈折率も高精度で求めることができる。なお、電圧制御発振器400は、発振周波数範囲が測定の対象となる距離値の範囲に応じて選択される。

【0025】空気中で上記の光学式距離計を用いた場合、大気のゆらぎによる受光光量の変動が、回路系のタ☆

$$\begin{aligned} V_A'(t) &= I_0 \cdot V_0(t) \\ &\quad + V_A \cdot V_B(t) \cdot \sin(\omega t - \phi) \end{aligned} \quad \dots (6)$$

ここで、 $V_0(t)$: 反射変調光の背景光の時間変動

50 $V_B(t)$: 反射変調光の変調成分の時間変動

8

... (1)

* ϕ : 反射変調光と変調信号との位相差

... (2)

☆の場合を、そして図3(c)は位相差が $\pi (+2n\pi; n=\text{整数})$ の場合を示す。

【0020】したがって、誤差増幅器310の基準電圧端子の入力値を「0V」とすると、誤差増幅器310の出力電圧値 V_1 は、

◇い。そこで、あらかじめ電圧制御発振器400の発振周波数範囲が往復距離の遅延時間(T_d)の4/3倍の周期を含むように設定され、また初期変調周波数が十分に低ければ、電圧制御発振器400が T_d の4/3倍の周波数で位相差はちょうど $\pi/2$ となる。

【0022】よって、往復距離に相当する群遅延時間 T_d は、電圧制御発振器400の発振周波数すなわち周波数カウンタ500の測定値 f から、

... (6)

*が既知であり、 L_1 と L_2 が等しい($L_1 = L_2 = L$)

30 とすれば、 T_d から、反射体までの距離 L は、

... (7)

※波数範囲が測定の対象となる距離値の範囲に応じて選択される。

【0024】また、 L_1 と L_2 が等しく($L_1 = L_2 = L$)かつ既知であれば、 T_d から、光路を満たす物質の群屈折率 n は、

... (8)

☆イミング変動(ジッタ)を引き起こし、測定値のばらつ

40 きに対して、支配的となるが、 $\pi/2$ の位相差で、固定されていれば、変動に対する影響は最小限にとどめられる。ここで用いる位相比較器である受光部200は、乗算器として作動し、位相が $\pi/2$ ずれた同じ周波数入力の場合、出力の直流成分(位相差情報)が、振幅の変動に関わりなくゼロになる。すなわち、受光部200の入力信号である反射変調光 V_A' の時間依存性を考慮する

と、

となる。なお、一般に $V_0(t)$ および $V_1(t)$ の時間変化の周波数成分は変調信号周波数に比べて充分小さい。

$$V_e = \langle V_0'(t) \cdot V_1 \rangle$$

$$= K_2 \cdot V_A \cdot V_B \cdot \cos \phi \cdot \langle V_1(t) \rangle \quad \dots (10)$$

となり、位相差 $\phi = \pi/2$ であれば、 $V_1(t)$ の形態に拘らず $V_e = 0$ となる。すなわち、位相差 $\phi = \pi/2$ を保つ制御を行えば、反射変調光の強度の変化の影響を受けない。

【0027】図4は、変調信号の説明図である。上記では、変調信号として図4(a)の正弦波を使用した。変調信号の波形は時間-振幅座標系において、①一定周期を有する周期関数であり、②振幅の時間平均が「0」であり、かつ、③振幅が0となる隣り合う時刻の midpoint の時刻を原点とした場合に、振幅が時間の偶関数であれば、上記の例と同様に位相差が周期の1/4となった場合に受光部200の出力は「0V」となる。すなわち、図4(b)の三角波、図4(c)の台形波、または図4※

$$Td_1 = 3/4 \cdot f_1^{-1} - Tc_1$$

Td_1 : L3, L4での群遅延時間

f_1 : VCO発振周波数

Tc_1 : 送光部と受光部での群遅延時間 ☆

$$Td_2 = 3/4 \cdot f_2^{-1} - Tc_2$$

Td_2 : L1, L2での群遅延時間

f_2 : VCO発振周波数

Tc_2 : 送光部と受光部での群遅延時間 ☆

$$Tc_1 = Tc_2 = Tc$$

となり、次のように、参照用光路の反射板600を基準点(距離ゼロ)とした被測定対象までの距離Lを、送光部、受光部等での群遅延ドリフトの影響を受けずに求め◇30

$$Td = Td_2 - Td_1$$

$$= 3/4 \cdot (f_2^{-1} - f_1^{-1})$$

この(14)式を(7)式に代入すると、光路を満たす物質の群屈折率nが既知とすれば、反射体までの距離L※

$$L = 3/4 \cdot c \cdot (f_2^{-1} - f_1^{-1}) / (2 \cdot n) \quad \dots (15)$$

となる。

【0032】また、反射体までの距離Lが既知であれば※

$$n = 3/4 \cdot c \cdot (f_2^{-1} - f_1^{-1}) / (2 \cdot L) \quad \dots (16)$$

となる。

【0033】図7の構成中の遅延器450(遅延時間= T_0)は、電圧制御発振器400の発振周波数範囲を拡大せずに、距離測定の範囲を拡大するために設置されるものであり、(11)式の Tc_1 および(12)式の Tc_2 に含めて取り扱われる。

【0034】例えば、遅延器450を設置しない(すなわち、 $T_0 = 0$)で0~100mの距離範囲を測定する場合には、最小距離と最大距離との測定に必要な変調周波数は、

①0m時(送光部と受光部との群遅延時間の総和=約15ns)→約50MHz

*【0026】このとき、受光部200の出力電圧 V_e は、光導電型受光器210が飽和しない限り、

※(d)の矩形波などが使用可能である。

【0028】また、受光部200は、図3の構成から変調信号の印加方法を変更して、図5に示す受光部の構成例2あるいは図6に示す受光部の構成例3のように構成としても同様にフェーズロックループを形成することができる。

【0029】図7に、参照用の光路を設けた第2のタイプの光学測定装置の概略の構成を示す。この参照用の光路は、測定値のドリフトに対して支配的となる回路系の群遅延変動をキャンセルするためのものである。

【0030】参照用の光路L3, L4を選択しているとき、回路系の群遅延を考慮すると、(6)式は次のよう

$$\dots (11)$$

◇☆反射体までの測定光路L1, L2を選択しているときも、同様に、

$$\dots (12)$$

☆となる。ドリフトの生じないうちに、 Td_1 , Td_2 を測定すれば、

$$\dots (13)$$

◇ることができる。

【0031】具体的には、まず以下の式が成り立つ。

※ば、光路を満たす物質の群屈折率nは、

②100m時(送光部と受光部との遅延時間の総和=約682ns)→約1.1MHz

となり、電圧制御発振器400は、1.1MHz~50MHz程度という発振周波数範囲が必要となる。しかし、距離測定に使用する変調周波数の最大値が最小値の3倍を越えると、上述のフェーズロックループのロック条件が複数の変調周波数で成立する可能性がある。

【0035】こうした事態に対しては、図7のように測定距離範囲に応じて適当な遅延器を設置すればよい。例えば、 $T_0 = 500$ nsの遅延器450を設置すれば、上記の0~100mの距離範囲を測定する場合には、最小距離と最大距離との測定に必要な変調周波数は、

①0 m時（送光部と受光部との群遅延時間の総和＝約500 ns）→約1.5 MHz

②100 m時（送光部と受光部との遅延時間の総和＝約1.17 μs）→約643 kHz

となり、電圧制御発振器400の発生する変調周波数の最大値は最小値の3倍以下となる。以上のように、測定距離範囲に応じて適当な遅延器450を設置すれば、フェーズロックする変調周波数は一意的に決まるとともに、電圧制御発振器400の発振周波数範囲も狭くなり、装置の構成が簡易となる。

【0036】図8に、参照用の光路を設けた上に、変調周波数変化部800をローパスフィルタ320と電圧制御発振器400との間に設置した第3のタイプの光学測定装置の概略の構成を示す。変調周波数変位部800は、光路（L1+L2）中に存在する変調周波数を有する強度変調成分の波の数を決定するためのものである。図示のように変調周波数変位部800は、①ローパスフィルタ320から出力された略直流電圧信号V1と処理部（図示せず）から出力された標準電圧指示信号とを入力し、V1の値と標準電圧の値の積の値に応じた値を有する略直流電流信号I1を出力する乗算型の電流出力D/Aコンバータ810（DA1）と、②処理部から出力された変位電圧指示信号を入力し、変位電圧指示信号の値に応じた値を有する直流電流信号I2を出力する電流出力D/Aコンバータ820（DA2）と、③I1とI*

$$m+3/4=f1 \cdot (2L \cdot n/c+Td) \quad \dots (17)$$

ここで、m：光路（L1+L2）の変調波の波数

2L：反射体までの往復距離

n：光路（L1+L2）を満たす物質の群屈折率

c：真空中の光速

Td：送光部、受光部、および遅延器の群遅延時間の総計

が成り立つ。この段階ではmと、距離計ではL、群屈折率

$$\Delta f1 = (2L_{\text{MAX}}/c+Td)^{-1} \quad \dots (18)$$

ここで、L_{MAX}：距離測定の場合には、装置としての測定距離の最大値

群屈折率測定の場合には、設定距離値

で算出されるΔf1と略同様の値となるように設定する。なお、以上ではnが略「1」であることを仮定しているが、測定上でnが「1」と扱えない場合には、想定されるnの最大値をn_{MAX}として、(18)式の「c」を「c/n_{MAX}」に置き換えて取り扱う。

$$m+1+3/4=f2 \cdot (2L \cdot n/c+Td) \quad \dots (19)$$

が成り立つ。(17)式と(19)式とを連立させてmについて解くと、

$$m = (7f1 - 3f2) / [4(f2 - f1)] \quad \dots (20)$$

となり、計測値f1およびf2からmを求めることができる。このmの値を(17)式に代入して、測定対象である距離Lあるいは群屈折率nを算出する。

【0042】なお、D/Aコンバータ810、820は電流出力型のものを使用し、電流加算を行ったが、電圧

*2とを入力し、I1の値とI2の値との和の値に応じた略直流電圧信号V2出力する電流加算器830と、から構成される。

【0037】ここで、電流加算器830は、+側入力端子は接地されるとともに、-側入力端子はD/Aコンバータ810およびD/Aコンバータ820の出力が接続され、出力端子が電圧制御発振器400の電圧入力端子に接続された演算増幅器A2と、一方の端子が演算増幅器A2の出力端子と接続されるとともに、他方の端子が演算増幅器A2の-側入力端子に接続され、電流-電圧変換を行う抵抗R2と、から構成される。

【0038】上述のように、本発明の光学測定装置は、フェーズロックした変調周波数の値を検出することで距離または光路（L1+L2）を満たす物質の群屈折率を測定するので、変調周波数の値が大きいくほど高精度の測定が可能となる。しかし、フェーズロックする変調周波数を大きくすると、フェーズロックする変調周波数の一意性を維持できなくなる。

【0039】本タイプの装置は、処理部から標準電圧値をD/Aコンバータ810に設定することにより、十分な測定精度を得ることができる変調周波数の値の範囲（例えば、10⁸ Hz付近）で、まず、D/Aコンバータ820の出力電流値を略0として、フェーズロックする第1の変調周波数値f1を計測する。このとき、第1の変調周波数値f1については、

※率計ではnとが未知であるため目的の測定値を求めることはできない。

【0040】次に、処理部からD/Aコンバータ820に電流出力の増加指示を発行する。この場合、処理部が指示する電流増加量は、この電流増加によって変化する変調周波数の増分Δfが、

☆【0041】こうして、D/Aコンバータ820の電流出力を略Δf1分だけ増加させてフェーズロック周波数を計測する。計測したフェーズロック周波数の値がf1に一致した場合、処理部は順に略Δf1分ずつD/Aコンバータ820の電流出力を増加させて都度フェーズロック周波数を計測し、フェーズロック周波数がf1から変化するまで続行する。変化したフェーズロック周波数f2では、

☆について解くと、

出力型のD/Aコンバータを用いて電圧加算を行っても同様に動作する。

【0043】以下、本発明の具体的実施例について説明する。

【0044】（第1実施例）図9に、図7の第2のタイ

ブの光学測定装置をファイバースコープに応用した本発明の第1実施例の装置を示す。レーザーダイオード(LD)110からのレーザー光は、ファイバー131を通り被測定対象の物体に照射される。このレーザー光は、ビーム状にコリメートされており物体の一点に照射される。目標の物体が遠方にあり、レーザー光のビームが広がってしまう場合、コーナキューブプリズム等の再帰性のある反射板をターゲットとして用いる。ファイバー131の出射光の一部は、ミラー610、620によってファイバー132(校正用の光路)に導かれる。

【0045】一方、物体からの散乱光は、光学スイッチ250を切替えてファイバー133を選択することにより、光学フィルタ261に導かれる。光学フィルタ261は、分光器あるいは干渉フィルターなどから構成される。この光学フィルタ261は、被測定対象の物体の外観観察に用いられる照明光などの外乱成分を除去するためのものである。光学フィルタ261を介した光は、光可変減衰器262に入力する。この光可変減衰器262は、物体の反射率、距離の異なりから生じる過大光量入射時に受光部200の光導電型受光器210の飽和を防止するためのものである。具体的には、印加電圧の変化により透過率の変化する液晶、PLZT等あるいはNDフィルターの機械的な切り換え機構その他により構成される。

【0046】強度変調された散乱光ないし校正用の光路からの戻り光は、以上のプロセスを経て受光部200に入力する。受光部200では、上述したように、この受光信号と電圧制御発振器400の出力する変調信号との積を演算後、直流成分を取り出す時間平均演算を施す。

【0047】なお、本実施例では、電圧制御発振器400の出力する変調信号を発振器272が発生する周波数 f の発振信号によって位相変調部271で位相変調した後、受光部200に入力している。周波数 f は、上述のフェーズロックループのループフィルタの帯域幅よりも充分大きい値に設定されるのでフェーズロック特性に影響を与えることはない。フェーズロックした状態では、受光部200内の時間平均前の信号は、周波数 f の交流成分を含んだものとなっており、この信号を交流増幅器730を介して計測制御部710へ入力することにより、受光光量の不足によりロックする位相が移動して距離測定に誤差が生じたことを判定可能としている。

【0048】受光部200の出力信号は、誤差増幅器310とローパスフィルタ320とを介して電圧制御発振器400にフィードバック入力する。電圧制御発振器400は、この入力信号の電圧値に応じた周波数で発振する変調信号を生成して、LD駆動部120へ出力する。LD駆動部120は、電圧制御発振器400の出力を電流変換してLD110に与える。LD110の出力は、ファイバー131を介して被測定対象の物体、あるいは、校正用光路のミラー610、ミラー620、ファイ

バー132へ導かれる。

【0049】オフセット電圧の変動による位相検出誤差を避けるため、受光部200の出力の一部は、計測制御部710に導かれる。計測制御部710では、無変調時の光入射に対する受光部200の出力が「0V」になるように、受光部200のオフセット電圧を調整する。

【0050】また、計測制御部710は、光路切替スイッチの制御を行い、その都度フェーズロック条件の成立する周波数を周波数カウンタ500から読取り、測定対象物体までの距離を計算して表示部720に測定距離を表示する。

【0051】以下、本実施例の装置の動作について説明する。LD110からのレーザー光は、ファイバー131を通して目標の物体に照射される。受光部200は、物体で反射されて戻ってきたレーザー光を検出する。受光部は、LD110から出射されるレーザー光と電圧制御発振器400が出力する変調信号との位相差が $\pi/2$ になる条件でそのDC出力成分がゼロとなる。したがって、フェーズロックされて電圧制御発振器400の出力周波数が固定された場合、この出力周波数は、常にLD110から目標の物体までの距離に対応したものとなっている。よって、周波数カウンタ500で電圧制御発振器400の出力周波数をモニタしておけば、ある時点での出力周波数に基づいてこの時の物体までの距離を簡易かつ高精度で求めることができる。なお、光学スイッチ250を切替えてファイバー133を選択した時のフェーズロック周波数の計測を合わせて行うことにより、本実施例の装置自体に起因する位相差を除去した上で、ミラー610を基準点とした物体までの距離を求めることができる。

【0052】以下、第1実施例の具体的測定条件について説明する。各ファイバー131、132、133の長さは1.5mであり、各ファイバー131、132、133の群屈折率は1.5であり、ファイバー131の出射端からミラー610までの距離は5mmであり、ミラー610からミラー620までの距離は2.5mmであり、ミラー620からファイバー132までの距離は2.5mmであり、目標の物体までの光路の平均屈折率が1.0であり、LD110等の送光部100、受光部200、増幅部までの群遅延時間の総和が5nsであり、真空中の光速度が 3×10^8 m/sであるとき、(11)式から f_1 (校正用の光路に測定光をバイパスさせた場合の値)として、

$$\begin{aligned} f_1 &= 3/4 \cdot (T_{d1} + T_{c1})^{-1} \\ &= 3/4 \cdot \{ [2 \times 1.5 \times 1.5 \\ &\quad + (5 + 2.5 + 2.5) \times 10^{-3}] / 3 \times 10^8 \\ &\quad + 5 \times 10^{-9} \}^{-1} \\ &= 37.437605 \times 10^6 \end{aligned}$$

が得られる。

【0053】次に、ミラー610から被測定対象である

物体までの距離を20cm、平均屈折率を1.0とすれば、同様に f_2 （被測定対象に測定光を照射した場合の値）として、

$$f_2 = 3/4 \cdot \{ [2 \times 1.5 \times 1.5 + (5+5) \times 10^{-3} + 2 \times 0.2] / 3 \times 10^8 + 5 \times 10^{-9} \}^{-1} \\ = 35.101404 \times 10^6$$

が得られる。

【0054】ここで周波数測定の精度を6桁（ $\pm 1/1000000$ ）とすると、最大の測定誤差 ΔL は（13）式から、

$$\Delta L = 0.000002 \times 3 \times (f_2^{-1} + f_1^{-1}) \times v \\ / (2 \times 4) = 12.42 \mu\text{m}$$

ただし、 $n=1$ とした。ここで、従来からある、15MHzの変調波を用いた、位相差方式の光波距離計を考えると、位相の分解能として $1/2000$ を想定すると、往復での時間分解能が

$$(15 \times 10^5)^{-1} / 2000 = 33.3 \times 10^{-12}$$

であり。距離にして

$$3 \times 10^8 \times 33.3 \times 10^{-12} / 2 = 5\text{mm}$$

となるに過ぎない。したがって本実施例の装置では、簡単な構成で位相自体の測定よりもはるかに高い分解能を得ることができることが分かる。

【0055】このように、測定対象物までの距離が正確に計れることにより、光学系の視野角から対象物の寸法なども求めることが可能となる。また、このような実施例の装置が、内視鏡に組込まれた場合、レーザー光線を用いた腫瘍の治療などでレーザーの照射強度を決定する際の有効な指標になると考えられる。また、携帯型の簡易な測距儀を構成することも可能である。

【0056】なお、上記のファイバースコープでは、第2のタイプの光学測定装置を利用した場合を説明したが、第1のタイプまたは第3のタイプの光学測定装置を利用することも可能である。ただし、第1のタイプの光学測定装置を利用した場合には、そのままでは上記のファイバースコープよりも測定精度が低下するので、精度向上のため、装置に内在する回路系の群遅延変動を事前測定して補償する必要がある。また、第3のタイプの光学測定装置を利用した場合には、測定精度は向上するが装置構成がやや複雑となる。

【0057】（第2実施例）図10に、図7の第2のタイプの光学測定装置をファイバースコープに応用した本発明の第2実施例の装置を示す。本実施例では、ファイバー131とファイバー132の先端を密着させて、散乱体630などを用いてファイバー131からの出射光の一部をファイバー132に戻す。各ファイバーの先端部が小型化されると同時に、図9の第1実施例のファイ

バミラー610からミラー620までの距離とミラー620からファイバー133までの距離を考慮する必要がなくなる。この実施例では、ファイバ131とファイバ132とを別のファイバとしたが、単一のファイバで構成することも可能である。この場合は、散乱体630を設置せずにファイバ端面での反射を利用することができる。

【0058】なお、本実施例においても第1実施例と同様に、第1のタイプまたは第3のタイプの光学測定装置を利用することも可能である。ただし、第1のタイプの光学測定装置を利用した場合には、そのままでは上記のファイバースコープよりも測定精度が低下するので、精度向上のため、装置に内在する回路系の群遅延変動を事前測定して補償する必要がある。また、第3のタイプの光学測定装置を利用した場合には、測定精度は向上するが装置構成がやや複雑となる。

【0059】（第3実施例）図11に、図7の第2のタイプの光学測定装置を群屈折率計に応用した本発明の第3実施例の装置を示す。本実施例の装置は、第2実施例の装置にファイバ131の光出射端およびファイバ133の光入射端から所定の距離 L に配設された反射板650を加えて構成される。また、処理部740は、第2実施例の処理部710から内蔵される算出機能を群屈折率用に変更して構成され、表示部750にはこの装置での測定値を表示する。

【0060】以下、本実施例の装置の動作について説明する。LD110からのレーザー光は、ファイバー131を通して目標の物体に照射される。受光部200は、物体で反射されて戻ってきたレーザー光を検出する。受光部は、LD110から出射されるレーザー光と電圧制御発振器400が出力する変調信号との位相差が $\pi/2$ になる条件でそのDC出力成分がゼロとなる。したがって、フェーズロックされて電圧制御発振器400の出力周波数が固定された場合、この出力周波数は、常にLD110から目標の物体までの距離に対応したものとなっている。よって、周波数カウンタ500で電圧制御発振器400の出力周波数をモニタしておけば、ある時点での出力周波数に基づいて光路を満す物質の群屈折率を簡易かつ高精度で求めることができる。なお、光学スイッチ250を切替えてファイバー133を選択した時のフェーズロック周波数の計測を合わせて行うことにより、本実施例の装置自体に起因する位相差を除去した上で、光路を満す物質の群屈折率を求めることができる。

【0061】この装置で受光部200と反射体650との間を大気とすると、測定値である群屈折率 n は、

$$(n-1) \cdot 10^8 = [2371.4 + 683939.7 \cdot (130 - \sigma^2) / (130 - \sigma^2)^2 \\ + 4547.3 \cdot (38.9 + \sigma^2) / (38.9 + \sigma^2)^2] \cdot D_1 \\ + [6487.31 + 174.174 \cdot \sigma^2]$$

$$\begin{aligned}
 & -3.55750 \cdot \sigma^4 + 0.61957 \cdot \sigma^6] \cdot D_r \quad \dots (21) \\
 D_s &= (P_s / T) \cdot [1 + P_s \cdot (57.90 \cdot 10^{-8} \\
 & \quad - 9.3250 \cdot 10^{-4} / T + 0.25844 / T)] \quad \dots (22) \\
 D_r &= (P_r / T) \cdot [1 + P_r \cdot (1 + (3.7 \cdot 10^{-4}) \cdot P_r) \\
 & \quad \cdot (-2.37321 \cdot 10^{-3} + 2.23366 / T \\
 & \quad - 710.792 / T^2 + 7.75141 \cdot 10^4 / T^3)] \quad \dots (23)
 \end{aligned}$$

ここで、 P_s : 乾燥空気圧 (hPa)

P_r : 水蒸気圧 (hPa)

T : 絶対温度 (°K)

σ : 真空中での波長の逆数 (μm^{-1})

という実験式で表される (J.C.Owens, "Optical Refractive Index of Air: Dependence on Pressure, Temperature and Composition", Applied Optics 6(1), 1967, pp51-58)。したがって、温度、湿度、および気圧の内で2つの値が既知であれば、この装置によって測定された群屈折率 n とから、未知の大気情報値を算出することができる。

【0062】なお、本実施例においても第1実施例と同様に、第1のタイプまたは第3のタイプの光学測定装置を利用することも可能である。ただし、第1のタイプの光学測定装置を利用した場合には、そのままでは上記のファイバスコープよりも測定精度が低下するので、精度向上のため、装置に内在する回路系の群遅延変動を事前測定して補償する必要がある。また、第3のタイプの光学測定装置を利用した場合には、測定精度は向上するが装置構成がやや複雑となる。

【0063】本発明は、上記の実施例に限定されるものではなく変形が可能である。例えば、上記の実施例の装置では、LDの代りに高速変調用のLED等を用いても構成することができる。また、送光部のドリフトによる計測精度の劣化を避けるために、校正用の光路からの反射光または直接光を別の受光器で受け、この出力を使って光導電型受光器の印加電圧としても良い。

【0064】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の第1の光学測定装置によれば、送光部の変調信号の位相と受光部での反射変調光の位相との差を光導電型受光器を有する受光部で直接演算し、この演算結果を用いて位相固定の条件を保つように、変調光の周波数を調節する制御を行うので、変調信号の周波数は、常に送光部及び受光部側から目標物体までの距離に対応したものとなっている。したがって、周波数が固定化した時点での変調

光の周波数に基づいてこの時の目標物体までの距離を簡易かつ高精度で求めることができる。

10 【0065】また、本発明の第2の光学測定装置によれば、送光部の変調信号の位相と受光部での反射変調光の位相との差を光導電型受光器を有する受光部で直接演算し、この演算結果を用いて位相固定の条件を保つように、変調光の周波数を調節する制御を行うので、変調信号の周波数は、常に送光部及び受光部側から所定位置に配設された反射手段までの光路を満たす物質の群屈折率に対応したものとなっている。したがって、周波数が固定化した時点での変調光の周波数に基づいてこの時の反射手段までの光路を満たす物質の群屈折率を簡易かつ高精度で求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1のタイプの光学測定装置の概略の構成図である。

【図2】受光部の構成例1の構成図である。

【図3】受光部の動作の説明図である。

【図4】変調信号の波形の説明図である。

【図5】受光部の構成例2の構成図である。

【図6】受光部の構成例3の構成図である。

30 【図7】本発明の第2のタイプの光学測定装置の概略の構成図である。

【図8】本発明の第2のタイプの光学測定装置の概略の構成図である。

【図9】第1実施例の光学測定装置の構成図である。

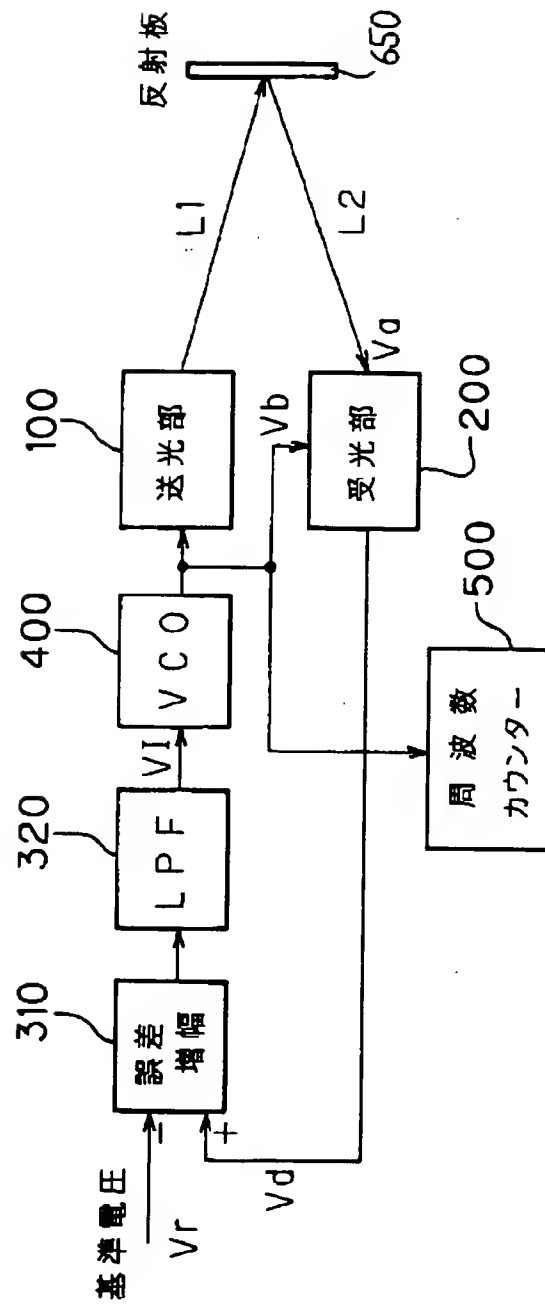
【図10】第2実施例の光学測定装置の構成図である。

【図11】第3実施例の光学測定装置の構成図である。

【符号の説明】

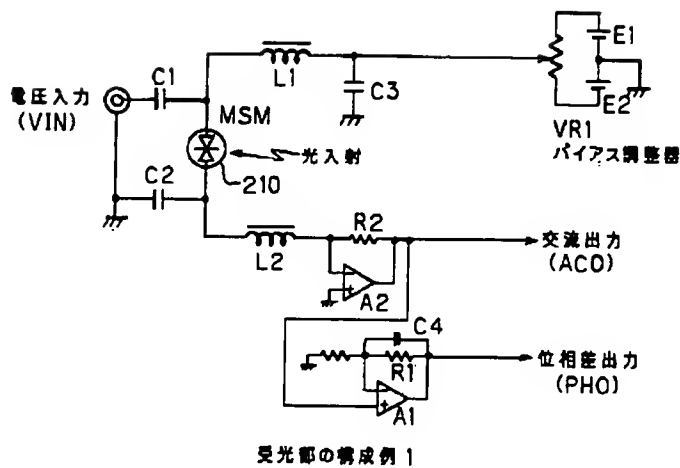
100...送光部、200...受光部、210...光導電型受光器、310...誤差増幅器、320...ローパスフィルタ、400...電圧制御発振器、500...周波数カウンタ、610、620...ミラー、630...拡散体、650...反射板、710...計測制御部、720...表示部、800...変調周波数変位部、810、820...D/Aコンバータ、830...信号加算器。

【図1】

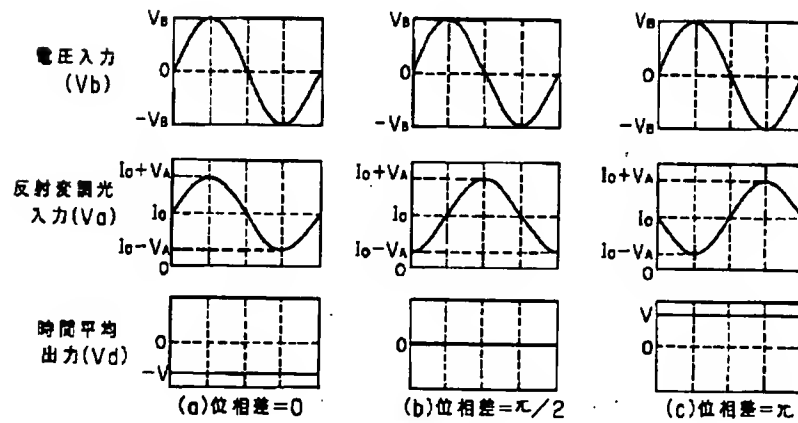


発明の概略構成 (1)

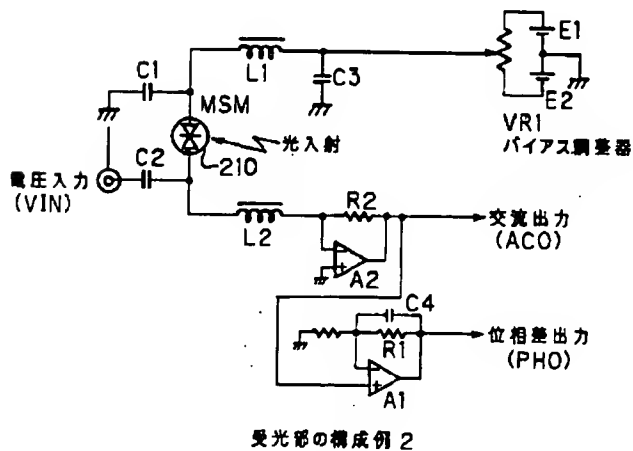
【図2】



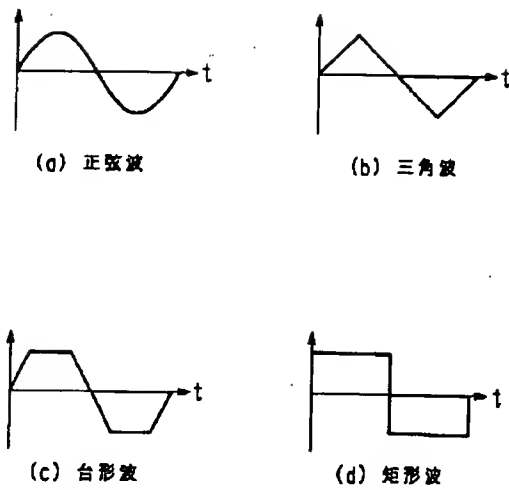
【図3】



【図5】

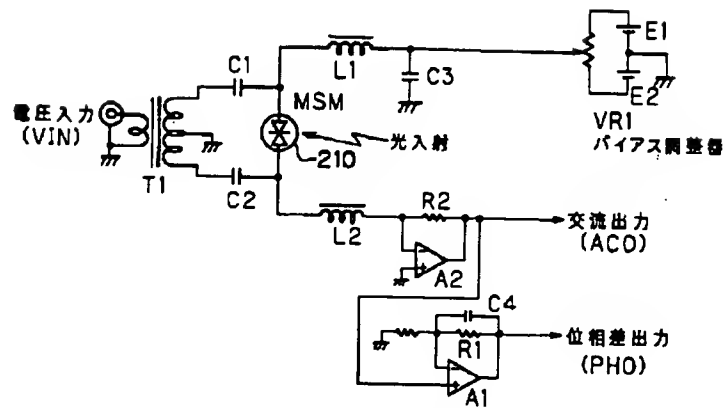


【図4】



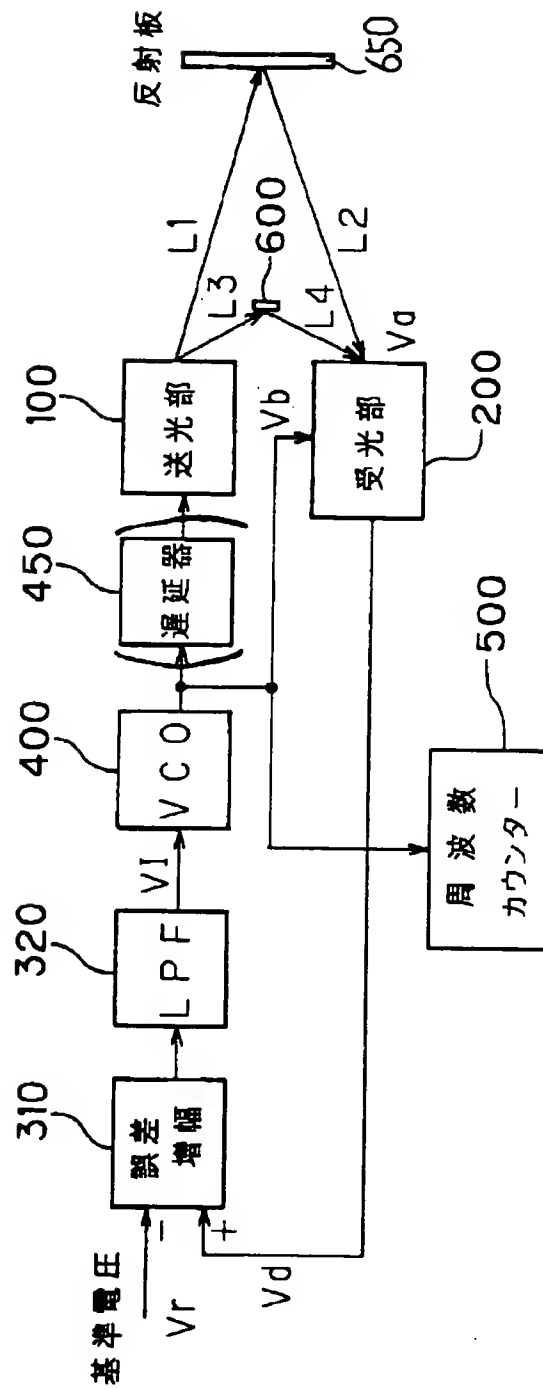
変調信号の波形

【図6】

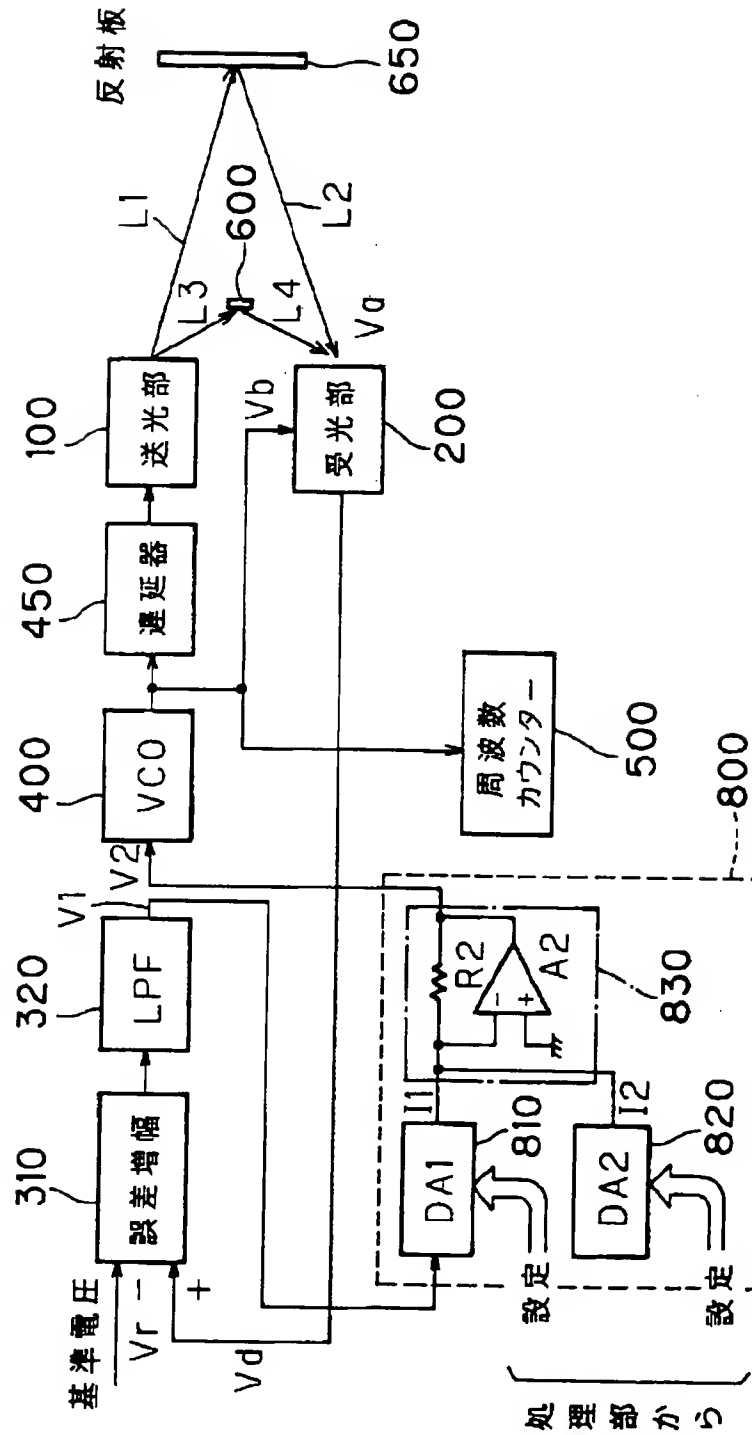


受光部の構成例 3

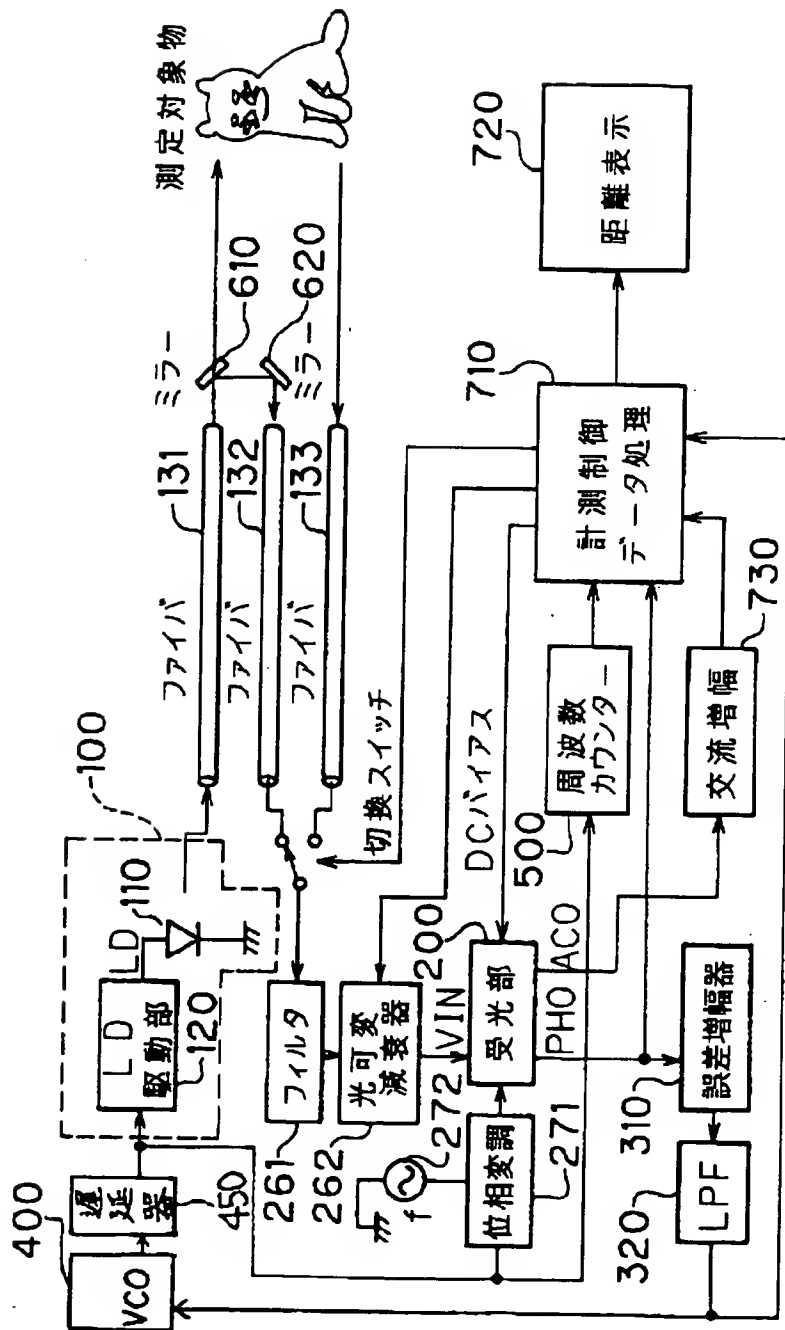
発明の概略構成(2)



【図8】

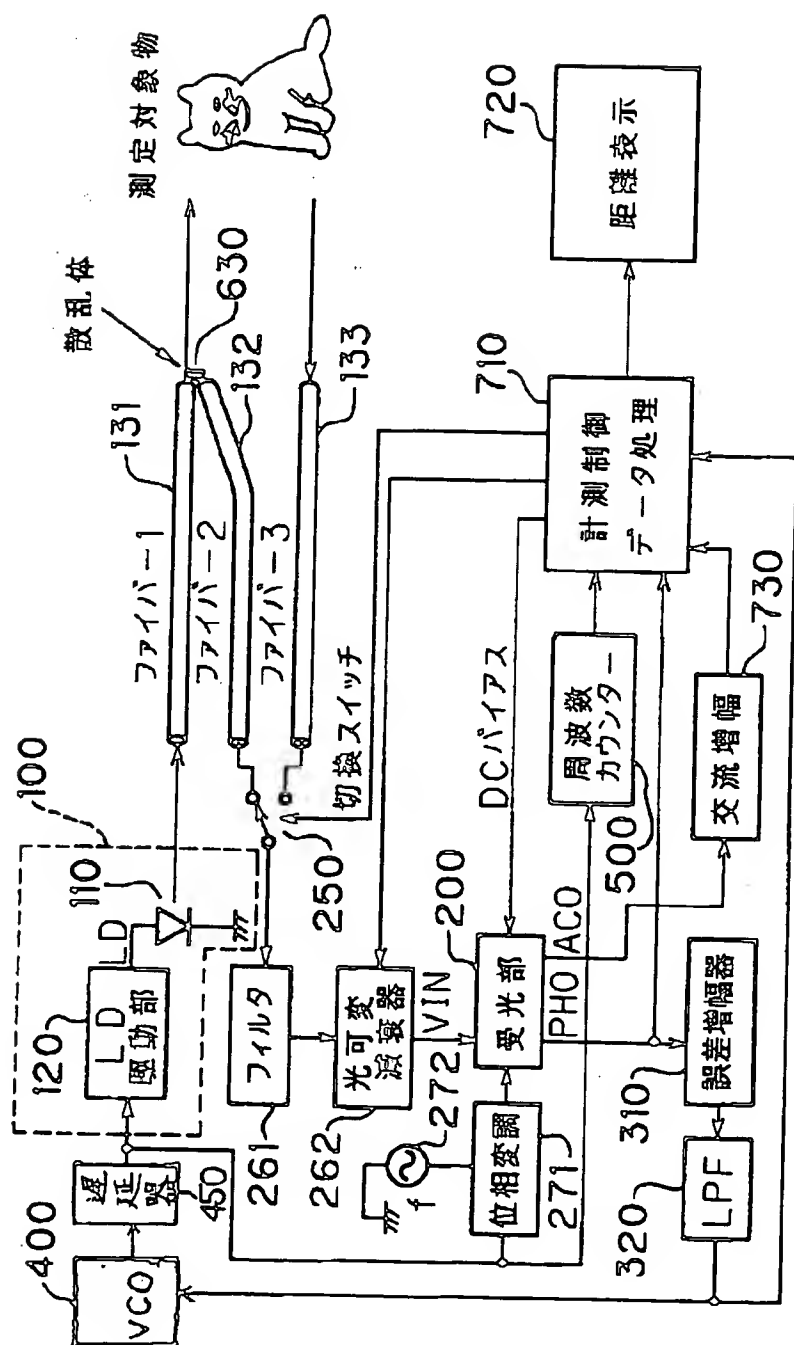


【図9】



第1実施例の装置

【図10】



第2実施例の装置

